

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

2 402 188

(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 78 16237

(54) Procédé et appareil de mesure des dimensions d'une cavité.

(51) Classification internationale (Int. Cl.²). G 01 B 15/00//B 65 G 5/00.

(22) Date de dépôt 31 mai 1978, à 15 h 25 mn.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée : *Demande de brevet déposée aux Etats-Unis d'Amérique le
2 septembre 1977, n. 830.210 au nom de Lawrence Arnold Harris.*

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — «Listes» n. 13 du 30-3-1979.

(71) Déposant : Société dite : ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, INC., résidant aux
Etats-Unis d'Amérique.

(72) Invention de :

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Rinuy, Santarelli.

La présente invention concerne de façon générale les dispositifs de mesure des dimensions internes des corps creux et en particulier ceux dont l'ouverture par laquelle l'appareil de mesure doit passer, est très petite.

5 Récemment, les autorités gouvernementales et l'industrie ont consacré des efforts considérables aux Etats-Unis d'Amérique au développement des gisements souterrains de sel, dans divers buts. Les gisements de sel sont exploités afin qu'ils constituent des zones de stockage de pétrole à long terme et
10 des emplacements pour l'évacuation des déchets radioactifs. En outre, on a consacré des recherches très importantes à l'utilisation des cavernes des gisements de sel pour le stockage d'air comprimé, constituant un stockage d'énergie. De l'énergie électrique est utilisée pour la compression et la conservation d'air
15 dans des cavernes importantes pendant les périodes de faible demande en énergie. L'air comprimé est ensuite utilisé, en périodes de consommation de pointe, pour l'entraînement de turbines et de génératrices d'électricité.

Lors de la formation d'une caverne de grande dimension
20 dans un gisement de sel, ce dernier est retiré de la formation géologique souterraine par extraction en solution. La figure 1 des dessins annexés qui est une coupe verticale d'une formation souterraine, représente un exemple de caverne exploitée par dissolution du sel. La caverne 5 comporte un dôme 7 recouvert par
25 des terrains de couverture et un capuchon de roche 9. L'ensemble des opérations est réalisé par l'intermédiaire d'un trou foré et tubé 11 de petit diamètre. De l'eau douce est injectée par l'une des deux tuyauteries concentriques 13, 15, formant un train de tiges de lixiviation, et la saumure est extraite par
30 l'autre tuyauterie. Le sel se dissout près du point d'injection de l'eau douce. Une troisième tuyauterie concentrique 17, formant un train de protection, est utilisée pour l'injection d'une matière protectrice 19 qui est moins dense que l'eau. Cette matière protectrice interrompt le processus de mise en solution
35 au-dessus d'une certaine hauteur, par poussée du niveau de l'eau vers le bas. Par exemple, une matière protectrice utilisée est le carburant diesel ou le propane.

Lors de l'exploitation d'une caverne de grande dimen-

sion, le processus de dissolution peut prendre plusieurs années. Le volume de saumure qui doit être traité correspond à dix fois environ celui de la caverne. L'importance de l'extraction est réglée par contrôle de la concentration de la saumure retirée.

- 5 Périodiquement, les deux trains 13, 15 de lixiviation et le train 17 de protection sont remis en position ou la pression de la matière de protection est modifiée afin que la configuration de la zone creusée soit modifiée. A certains intervalles, la configuration de la caverne est mesurée par retrait des trois
- 10 trains de tiges et descente d'un dispositif de mesure. Ainsi, le diamètre, la profondeur et l'uniformité de parois sont mesurés. Lorsque la caverne a la forme voulue, le processus d'extraction par dissolution est interrompu et l'eau est retirée par pompage.

- Un exemple de caverne obtenue par extraction de sel
- 15 par dissolution a un volume d'environ $900\,000\text{ m}^3$, un diamètre d'environ 60 m et une hauteur d'environ 600 m. Le diamètre du trou foré est compris entre 25 et 40 cm, et sa longueur est d'environ 300 m. Le fond de la caverne se trouve à 900 m environ au-dessous de la surface.

- 20 Actuellement, le procédé le plus courant de mesure de la caverne comprend la propagation d'ondes ultrasonores car l'eau transmet les ondes acoustiques. Ce procédé est coûteux et long car il nécessite le remplissage et le vidage de la caverne par de l'eau ou de la saumure. Par exemple, il faut plusieurs
- 25 mois pour sa mise en oeuvre. En outre, une conséquence indésirable de cette technique est l'altération des dimensions de la caverne par extraction supplémentaire par dissolution. La charge de liquide à pression élevée, appliquée aux parois de la caverne, provoque aussi une déformation. Lorsqu'il est mesuré par cette
- 30 technique, le diamètre n'est qu'une approximation du diamètre véritable de la caverne lorsqu'elle est remplie d'air. La différence de pressions hydrostatiques entre le haut et le bas d'une caverne remplie de saumure saturée est d'environ 28 bars.

- Un autre procédé de détermination des dimensions des
- 35 cavernes de ce type est l'échographie, par radar à micro-ondes. Jusqu'à présent, de tels dispositifs à radar se sont révélés coûteux et ils nécessitent un appareillage important qui doit être placé à la surface. Ces systèmes sont aussi difficilement

miniaturisés en vue de leur introduction dans le long trou de forage très étroit.

D'autres procédés connus mettent en oeuvre des faisceaux lasers et des ondes acoustiques qui se propagent dans l'air. Lorsque le laser est suffisamment puissant, les surfaces de la paroi de la caverne réfléchissent une quantité mesurable de lumière. Cependant, la mesure d'une variation de dimensions de parois à $\pm 2,5$ cm près nécessite une précision de mesure du temps, lors de l'utilisation d'un faisceau laser, d'environ $0,33 \cdot 10^{-9}$ s. Bien que le temps écoulé pour une telle valeur puisse être mesuré au laboratoire, l'opération est plus délicate dans les conditions plus sévères d'un emplacement de forage. L'interface de l'air et du sel a aussi un faible coefficient de réflexion aux longueurs d'onde comprises entre 0,2 et 20 microns. L'utilisation d'ondes acoustiques qui se propagent dans l'air n'a pas été développée à cause du problème de la formation d'un émetteur acoustique suffisamment puissant pour qu'il transmette des ondes dans la caverne et suffisamment petit pour qu'il puisse passer par le trou foré. L'utilisation d'ondes acoustiques qui se propagent dans l'air est encore compliquée par l'atténuation importante des ondes lorsque la longueur d'onde diminue afin que la mesure soit réalisée à 2,5 cm près.

L'utilisation d'ondes acoustiques ou électromagnétiques pose aussi un problème géométrique. Les parois de la caverne formée dans le sel ont de préférence une faible rugosité, correspondant à un miroir. Comme les parois sont très lisses, les ondes acoustiques et électromagnétiques incidentes subissent une réflexion spéculaire. Lors de la mise en oeuvre d'une échographie, il est très probable que l'ensemble du faisceau réfléchi passe à côté du récepteur étant donné que le plan de la paroi n'est pas perpendiculaire à la direction de propagation des ondes.

L'invention concerne un procédé et un appareil ne présentant pas les restrictions et inconvénients des procédés et appareils connus.

Elle concerne la mesure des grandes dimensions internes d'un corps creux ayant un passage d'entrée très petit. Dans une caverne d'une mine de sel, le rapport du diamètre du trou foré à celui de la caverne est d'environ 1/200.

L'invention concerne aussi la mesure des dimensions internes d'un corps creux indépendamment de la manière dont l'énergie est réfléchie à la surface du corps et indépendamment de la perpendicularité de la surface réfléchissante.

5 L'invention concerne aussi la mesure précise du diamètre d'une grande caverne souterraine exploitée, dans un dôme. Un exemple de caverne d'exploitation de sel a les dimensions suivantes :

	diamètre du trou foré	25 à 40 cm
10	diamètre de la caverne	60 m
	variation du diamètre de la caverne	± 3 m
	longueur du trou foré	300 m
	profondeur du fond de la caverne par rapport à la surface	900 m
15	volume	900 000 m ³

L'invention concerne un appareil de mesure des dimensions internes des parois d'un corps creux. Cet appareil comporte un émetteur d'un faisceau d'énergie électromagnétique vers un
20 emplacement d'une paroi interne du corps creux. Après éclairage par l'énergie électromagnétique, l'emplacement de la paroi renvoie des ondes acoustiques qui forment des fronts d'ondes sphériques qui s'écartent. Les ondes acoustiques sont détectées par l'appareil et le temps écoulé entre l'émission du faisceau électromagnétique et la détection des ondes acoustiques est mesuré et
25 permet la détermination des dimensions internes de la cavité.

D'autres caractéristiques de l'invention ressortiront mieux de la description qui va suivre, faite en référence aux dessins annexés sur lesquels, la figure 1 ayant déjà été décrite :

30 la figure 2 est une élévation en coupe partielle d'un appareil de mesure des dimensions internes d'un corps creux ;

la figure 3 est une élévation en coupe partielle représentant l'appareil de la figure 2 en cours de fonctionnement dans une caverne souterraine de grande dimension, au-dessous d'un
35 dôme formé par un sel ;

la figure 4 est un diagramme synoptique en partie sous forme schématique du circuit logique et de mesure de temps utilisé avec l'appareil de la figure 2 ;

la figure 5 est un diagramme des temps illustrant le fonctionnement du circuit de la figure 4 ; et

la figure 6 est une élévation en coupe partielle d'une variante d'appareil de mesure des dimensions internes d'un corps creux.

Les figures 2 et 3 représentent un appareil de mesure des dimensions internes d'un corps creux. Un mode de réalisation avantageux convient très bien à la mesure des dimensions internes d'une caverne souterraine importante qui a subi une exploitation par dissolution et qui forme un dôme 7 de sel. L'appareil comporte un émetteur-récepteur 21 suspendu dans la caverne 5, à un arbre 23 ou un câble. L'émetteur-récepteur pénètre dans la caverne par un petit trou 11 foré, après retrait des trains de tiges 13 et 15 de lixiviation (figure 1) et du train de tiges 17 de matière protectrice. L'émetteur-récepteur peut tourner à distance en azimut autour d'un axe vertical sous la commande d'un rotor asservi 29 (figure 2). Ce rotor permet à l'appareil d'effectuer plusieurs mesures dans un plan horizontal, à l'intérieur de la caverne. L'émetteur-récepteur est alimenté et déclenché par une alimentation 25 représentée sur la figure 3 à la surface, près de l'emplacement du forage. Les mesures réalisées avec l'émetteur-récepteur sont traitées, mémorisées et affichées sur un appareillage 27 de lecture qui est aussi à la surface près de l'emplacement de forage. L'alimentation électrique et l'appareillage de lecture sont reliés à l'émetteur-récepteur par des câbles électriques qui passent dans l'arbre 23.

L'émetteur-récepteur 21 représenté sur la figure 2 comporte un dispositif d'émission d'un faisceau d'énergie électromagnétique vers deux emplacements 46, 46' des parois internes opposées de la caverne 5 (figure 3). Dans un mode de réalisation avantageux, le dispositif d'émission de l'énergie électromagnétique comporte un laser 32 ayant un miroir semi-réfléchissant 36 et un miroir 40 à peu près totalement réfléchissant. Ce dernier transmet juste suffisamment de lumière pour qu'il déclenche le photodétecteur 44 décrit dans la suite. Le laser est de construction classique et il transmet un faisceau de lumière collimatée cohérente et de forte énergie. Le laser est excité par l'alimentation 25 de la figure 3 et il peut avoir un fonctionnement pulsé

ou continu. Lorsqu'il est de type continu, le faisceau émis est commandé par un obturateur 34 à commande électrique représenté sur la figure 2. L'obturateur s'ouvre et ferme afin qu'il règle la durée du faisceau lumineux. Lors de l'utilisation d'un laser pulsé, un obturateur peut être superflu.

Une partie de la lumière provenant du laser 32 de la figure 2 est réfléchiée en direction horizontale et sort par une fenêtre optique 38, après réflexion sur le miroir semi-réfléchissant supérieur 36. Comme indiqué sur la figure 2, ce faisceau supérieur se propage vers la gauche. La lumière restante du laser passe verticalement à travers ce miroir supérieur 36. La plus grande partie du faisceau restant est ensuite réfléchiée partiellement en direction horizontale par une fenêtre inférieure 42, par l'intermédiaire d'un miroir 40. Comme indiqué sur la figure 2, ce second faisceau horizontal de lumière se propage vers la droite. La lumière restante du laser continue verticalement vers le bas et parvient à un photodétecteur 44 de construction connue. Ce dernier est destiné à l'excitation du circuit de mesure du temps décrit dans la suite et il indique le moment où le faisceau laser est émis par l'appareil.

On se réfère à la figure 3 qui indique que les impulsions de lumière laser collimatée de forte énergie, transmises des deux côtés de l'émetteur-récepteur 21, éclairent deux petits points 46, 46' des deux côtés de la caverne 5. L'énergie électromagnétique est absorbée par la paroi et provoque un chauffage localisé important. Ce chauffage provoque la création d'ondes de pression dans le sel, et ces ondes de pression créent des ondes acoustiques qui se propagent dans l'air de la caverne. Les ondes acoustiques paraissent venir de la petite zone éclairée par le laser. Ces ondes acoustiques se propagent radialement vers l'extérieur dans la caverne, avec des fronts d'ondes sphériques, à partir des points éclairés 46, 46'. La lumière du laser est collimatée et focalisée dans une certaine mesure afin que les points éclairés aient une petite dimension. Un point de petite dimension est souhaitable afin que le chauffage électromagnétique soit bien localisé et que la source des ondes acoustiques paraisse ponctuelle. Un point de petite dimension assure la divergence des ondes acoustiques et dans la caverne avec des fronts d'ondes

sphériques qui se propagent, si bien qu'une partie des ondes acoustiques est détectée par l'émetteur-récepteur 21.

Des ondes acoustiques qui parviennent sur l'émetteur-récepteur 21 de la figure 2 sont détectées par deux détecteurs 5 céramiques piézoélectriques plats 50 et 50'. Chaque détecteur a une orientation telle que son axe de sensibilité maximale est pratiquement parallèle à l'axe de propagation du faisceau laser. Des ondes acoustiques détectées sont transformées en signaux électriques qui parviennent à un compartiment électronique 52 placé à la partie inférieure de l'émetteur-récepteur. Ce compartiment électronique est monté à l'extrémité inférieure de l'émetteur-récepteur afin qu'il ne perturbe pas le faisceau laser ou les ondes acoustiques et il peut constituer un amortisseur de protection de l'appareil.

15 Sur la figure 3, l'émetteur-récepteur 21 transmet et reçoit des ondes dans deux directions parallèles, en sens opposés, afin que l'incertitude sur l'emplacement précis de l'émetteur-récepteur soit supprimée. Il faut noter que l'émetteur-récepteur est abaissé dans la caverne 5 dans un long trou foré puisque 20 la longueur de celui-ci peut atteindre 300 m. Ainsi, la position de l'émetteur-récepteur par rapport à l'axe vertical central de la caverne ne peut pas être déterminée avec précision. Lorsque la distance entre deux emplacements diamétralement opposés est mesurée, la somme des deux mesures donne la dimension transversale de la caverne et elle est indépendante de l'emplacement 25 précis de l'émetteur-récepteur.

La vitesse de propagation des ondes acoustiques est mesurée pour l'étalonnage de l'émetteur-récepteur. Cette mesure de vitesse est nécessaire car la caverne a une profondeur de 30 l'ordre de 900 m, et les mesures sont espacées sur cette longueur. La caverne peut aussi être sous de l'air sous pression lors du fonctionnement, à une pression de 40 à 80 bars. La vitesse du son dans la caverne est mesurée par mesure du temps de parcours des ondes acoustiques le long d'un trajet de longueur connue. 35 L'appareil comprend un générateur 56 de signaux (figure 2) qui alimente un transducteur émetteur 58 placé à la partie supérieure de l'émetteur-récepteur 21. Le transducteur émetteur transmet des ondes acoustiques ayant pratiquement la même longueur d'onde

que celles qui sont obtenues par irradiation des points 46, 46' de la figure 3. Les ondes acoustiques provenant du transducteur émetteur sont réfléchies par un réflecteur acoustique 60 monté sur l'arbre 23 de suspension, au-dessus de l'émetteur-récepteur.

- 5 Le réflecteur renvoie les ondes acoustiques vers l'émetteur-récepteur et l'écho obtenu est détecté par un transducteur récepteur 62. Comme la longueur du trajet compris entre les transducteurs et le réflecteur est connue et comme la longueur d'onde correspond aux ondes renvoyées par les points éclairés,
- 10 le temps écoulé lors de la propagation des ondes acoustiques suivant ce trajet peut être transformé en vitesse des ondes acoustiques reçues après éclairissement des points 46, 46' représentés sur la figure 3.

- Dans une variante, l'appareil d'étalonnage met en
- 15 oeuvre une impulsion laser émise qui parvient sur un émetteur-récepteur cible non représenté. Ce dernier renvoie une impulsion acoustique le long d'un trajet de longueur connue.

- L'émetteur-récepteur 21 mesure le temps écoulé entre la transmission de l'énergie électromagnétique et la réception
- 20 des ondes acoustiques, à l'aide du circuit logique et de mesure de temps représenté sur la figure 4. Ce circuit est placé dans le compartiment 52 de la figure 2, logeant les circuits électroniques. Le circuit comprend une horloge principale 66 qui transmet des impulsions de synchronisation ou de mesure de temps de fréquence constante. Le signal de l'horloge est transmis à un circuit
- 25 logique 68 à portes et à compteurs. Le circuit valide l'ouverture des portes 70, 70', 70". Les deux premières, lorsqu'elles sont validées, transmettent les signaux électriques provenant des transducteurs acoustiques 50, 50', indiquant que des ondes
- 30 acoustiques ont frappé les parois de la caverne. Les signaux de sortie des portes 70 à 70" sont amplifiés séparément par des amplificateurs 74, 74' et 74".

- Lors du fonctionnement, l'émetteur-récepteur mesure le temps écoulé entre l'émission d'une impulsion d'énergie électromagnétique et la réception d'ondes acoustiques provenant des
- 35 parois de la caverne. Lorsque la mesure est réalisée au cours d'une extraction par dissolution, les trains 13, 15 de lixiviation ou dissolution représentés sur la figure 1 et le train 17 de

matières protectrices sont d'abord retirés. L'émetteur-récepteur est ensuite descendu par le trou foré 11 représenté sur la figure 3, à l'intérieur de la caverne. L'émetteur-récepteur subit une rotation en azimut vers les positions choisies, à 5 l'aide du rotor asservi 29 représenté sur la figure 2.

Lors d'une mesure, le laser est excité par l'alimentation 25 représentée sur la figure 3, placée à la surface. Cette alimentation 25 crée aussi une impulsion de déclenchement représentée par la forme d'onde du haut de la figure 5, provoquant 10 la formation d'une impulsion lumineuse du laser de durée connue. Lorsque le laser 32 est de type continu, l'impulsion de déclenchement provoque l'ouverture et la fermeture de l'obturateur 34. Lorsque le laser est de type pulsé, l'impulsion de déclenchement provoque l'émission d'une impulsion lumineuse par le laser. La 15 mesure du temps commence lorsque le faisceau laser parvient sur le photodétecteur 44 représenté sur la figure 4. Ce photodétecteur ou cellule photoélectrique déclenche le circuit 68 représenté sur la figure 4. Ce circuit valide l'ouverture des portes 70, 70' et 70" comme indiqué par les trois formes d'ondes du bas 20 de la figure 5, et commence la transmission d'impulsions d'horloge aux compteurs 72, 72' et 72".

Lorsque l'obturateur 34 de la figure 4 s'ouvre ou lorsque l'impulsion lumineuse est émise par le laser 32, les faisceaux lumineux sont réfléchis par les miroirs semi-réfléchissants 25 36, 40, en directions parallèles mais en sens opposés dans la caverne 5. Les faisceaux lasers parviennent aux deux points 46, 46' de la figure 3. L'énergie électromagnétique est collimatée et focalisée dans une certaine mesure si bien qu'une quantité importante d'énergie électromagnétique est centrée sur une zone 30 très petite. Cette énergie est absorbée par la paroi et provoque un chauffage très localisé. Le chauffage provoque la création d'ondes de pression dans le sel et ces ondes provoquent elles-mêmes la formation d'ondes acoustiques qui sont renvoyées vers l'émetteur-récepteur 21. Les ondes acoustiques paraissent venir 35 d'une source ponctuelle correspondant à la zone du point éclairé. Les ondes acoustiques divergent vers l'extérieur à partir des points éclairés et elles ont des fronts d'ondes sphériques.

Les ondes acoustiques sont détectées par l'émetteur-

récepteur représenté sur la figure 2, à l'aide des transducteurs 50, 50'. Ceux-ci transforment les ondes acoustiques incidentes en signaux électriques d'écho 1 et d'écho 2 représentés respectivement par la troisième et la quatrième forme d'onde à partir du haut de la figure 5, ces signaux étant transmis par les portes 70, 70' et amplifiés dans les amplificateurs 74, 74'. Les signaux provenant des transducteurs provoquent l'arrêt du comptage des impulsions provenant de l'horloge principale 66 par les compteurs 72, 72'. Ces impulsions d'horloge sont transmises par l'horloge 10 par l'intermédiaire du circuit logique 68 à portes et compteurs. Le temps écoulé entre l'émission de l'énergie électromagnétique et la réception des ondes acoustiques, par chaque point éclairé, correspond au nombre d'impulsions enregistrées dans les compteurs. Cette information est transmise à l'appareillage 27 de lecture 15 de la figure 3 qui se trouve à la surface et elle est transformée en une mesure de dimension.

L'impulsion de déclenchement provenant de l'alimentation 25 de la figure 3 commande aussi un circuit d'étalonnage de vitesse de propagation. L'impulsion de déclenchement commande 20 le générateur 56 de signaux qui excite à son tour le transducteur émetteur 58 représenté sur la figure 4. Ce dernier émet un faisceau acoustique qui est réfléchi par le réflecteur 62 de la figure 2. Le faisceau réfléchi est détecté par le transducteur récepteur 62. Le signal de ce dernier est transmis à une porte 25 70" et amplifié dans l'amplificateur 74". Le signal du transducteur, représenté par la seconde forme d'onde à partir du haut de la figure 5, arrête le fonctionnement du compteur 72" qui a reçu jusqu'à présent les impulsions d'horloge du circuit 68. Le nombre d'impulsions enregistrées dans le compteur 72" est 30 relié à la vitesse de propagation des ondes acoustiques détectées par l'émetteur-récepteur. Le nombre d'impulsions enregistrées est égal à $2df/v$, d étant la distance du réflecteur d'étalonnage, f la fréquence d'horloge des impulsions et v la vitesse de propagation. Le signal du compteur 72" est aussi transmis à l'appareillage 27 placé à la surface. 35

Comme indiqué sur la figure 5, l'impulsion de déclenchement de la forme d'onde du haut de la figure 5, provenant de l'alimentation 25, provoque la validation de la porte 70" la

première par le circuit logique 68. La porte, lorsqu'elle est validée, permet la transmission de l'écho d'étalonnage qui arrête le compteur 72". Ensuite, la porte 70" cesse d'être validée et les portes 70 et 70' sont préparées afin qu'elles transmettent
5 les deux échos provenant des deux points éclairés 46, 46'. Ces échos sont transformés par les transducteurs 50, 50' en signaux électriques qui arrêtent les compteurs 72, 72" respectivement. Les trois compteurs 72 à 72" commencent à compter lorsque la lumière du laser vient frapper la cellule photoélectrique 44.
10 Celle-ci déclenche le circuit logique 68. Les portes 70 à 70" sont validées et cessent d'être validées comme indiqué sur la figure 5 afin que les ondes acoustiques détectées par les divers transducteurs correspondent en fait aux ondes qui doivent être mesurées. Il faut noter qu'une caverne formée dans du sel, par
15 exemple représentée sur la figure 1, crée un nombre important de réverbérations, d'harmoniques et d'ondes acoustiques réfléchies.

Il faut aussi noter que le temps écoulé entre l'émission de l'impulsion laser et la détection des ondes acoustiques correspond très bien au temps de parcours unidirectionnel de la
20 paroi de la caverne à l'émetteur-récepteur, par les ondes acoustiques. En effet, le temps de parcours de la lumière en direction transversale dans la caverne est négligeable par rapport au temps de parcours des ondes acoustiques dans l'air.

La figure 6 représente une variante d'appareil selon
25 l'invention dans laquelle le laser 32 et l'obturateur 34 sont placés à la surface, et la lumière du laser descend dans le trou 11. Ce mode de réalisation peut être utilisé lorsqu'un laser d'énergie très élevée est nécessaire et trop encombrant pour pouvoir être introduit dans le trou foré. Ce mode de réalisation
30 est aussi utilisé lorsque la caverne 5 est sous pression et est fermée de manière étanche par rapport à l'atmosphère. La lumière provenant du laser traverse une fenêtre optique 76 formée dans le joint 77.

L'appareil de la figure 6 fonctionne pratiquement
35 comme le mode de réalisation précédent, et les références identiques désignent des éléments analogues. La lumière du laser 32 est commandée par l'obturateur électrique 34' déclenché par l'alimentation 25. Le faisceau est réfléchi par un miroir 79, dans le

trou 11. Lorsque la caverne est fermée par rapport à l'atmosphère par le joint 77, le faisceau passe par une fenêtre optique 76 formée dans le joint. Le faisceau parvient à l'émetteur-récepteur 21' et à l'intérieur, il est réparti également par un répartiteur 5 81 de faisceau de type connu. Une partie du faisceau parvient à un miroir 83 de focalisation qui dirige le faisceau horizontalement vers l'extérieur par l'intermédiaire de la fenêtre 42. Un miroir de focalisation concentre la lumière vers un petit point de la paroi de la caverne après son passage le long du 10 trou 11. L'autre partie du faisceau est à nouveau divisée par le miroir 85 qui est presque totalement réfléchissant. La plus grande partie du faisceau descend verticalement vers un second miroir 83' de focalisation qui renvoie le faisceau vers l'extérieur par la fenêtre 38. L'autre partie du faisceau qui est plus 15 petite est transmise par le miroir 85 et parvient au photodétecteur 44. Celui-ci fonctionne de la même manière que celui de la figure 2, comme décrit précédemment. Les deux faisceaux d'énergie électromagnétique parviennent sur les parois de la caverne et créent des ondes acoustiques qui sont détectées et mesurées 20 comme décrit précédemment.

L'émetteur-récepteur 21' de la figure 6 a aussi un appareil analogue d'étalonnage par réflexion, destiné à mesurer la vitesse des ondes acoustiques. Cet appareil comporte des transducteurs 58, 62 représentés sur la figure 6 et il fonctionne 25 de la manière décrite précédemment. En outre, l'émetteur-récepteur 21' met en oeuvre pratiquement le même circuit électrique et le même diagramme des temps que le premier mode de réalisation, comme indiqué sur les figures 4 et 5.

Il faut noter que l'invention s'applique entre autres 30 choses aux mesures de distances et de dimensions par création d'ondes acoustiques dans de l'air, par absorption d'énergie laser dans l'objet mesuré. En conséquence, les mesures par échographie acoustique et électromagnétique posent le problème de la réflexion spéculaire. Lorsque la surface réfléchissante de l'objet 35 mesuré n'est pas perpendiculaire à l'axe de propagation de l'énergie, les ondes renvoyées par réflexion spéculaire s'éloignent du récepteur et l'écho est donc très faible ou même n'est pas du tout reçu. L'invention résout ce problème par émission d'ondes

acoustiques qui divergent avec des fronts d'ondes sphériques à partir de l'objet mesuré. La propagation de ces fronts d'ondes sphériques est indépendante de l'aspect de surface de l'objet mesuré et de la rugosité de celle-ci.

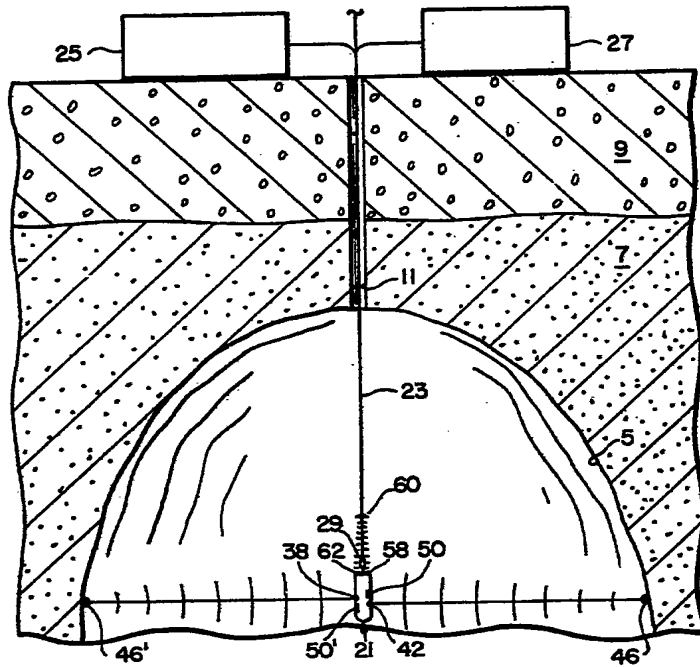
- 5 Il est bien entendu que l'invention n'a été décrite et représentée qu'à titre d'exemple préférentiel et qu'on pourra apporter toute équivalence technique dans ses éléments constitutifs sans pour autant sortir de son cadre.

REVENDICATIONS

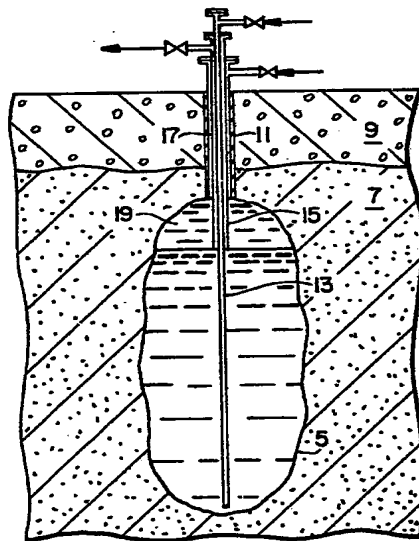
1. Appareil de mesure des dimensions internes d'un corps creux délimitant une cavité, les parois de la cavité étant capables d'émettre des ondes acoustiques lorsqu'elles sont éclairées par de l'énergie électromagnétique, ledit appareil étant caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif d'émission d'un faisceau d'énergie électromagnétique vers un emplacement d'une paroi interne d'un corps creux, un dispositif de réception d'ondes acoustiques qui se propagent depuis ledit emplacement de la paroi, après excitation par l'énergie électromagnétique, et un dispositif de mesure de temps destiné à déterminer le temps écoulé entre l'émission de l'énergie électromagnétique et la réception des ondes acoustiques afin que la distance séparant l'appareil de l'emplacement de la paroi soit mesurée.
2. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il a un boîtier étroit et allongé destiné à passer dans un orifice de petite dimension qui débouche dans un corps creux, et le dispositif d'émission, le dispositif de réception et le dispositif de mesure de temps sont placés dans le boîtier, le dispositif d'émission étant destiné à transmettre un faisceau d'énergie électromagnétique hors du boîtier et le dispositif de réception étant destiné à détecter des ondes acoustiques parvenant sur le boîtier.
3. Appareil selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif destiné à descendre le boîtier, le dispositif d'émission et le dispositif de réception ainsi que le dispositif de mesure de temps dans un trou foré, et un dispositif placé à l'extérieur du corps creux et destiné à commander l'appareil et à enregistrer les mesures.
4. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend un boîtier étroit et allongé destiné à passer par un orifice de petite dimension débouchant dans un corps creux, et un dispositif placé dans le boîtier et destiné à diriger le faisceau d'énergie électromagnétique du dispositif d'émission vers un emplacement d'une paroi interne du corps creux, le dispositif d'émission étant placé à l'extérieur du corps creux et étant destiné à transmettre un faisceau d'énergie électromagnétique vers l'intérieur, vers le boîtier, le dispositif de réception,

le dispositif de direction de faisceau et le dispositif de mesure de temps étant placés dans le boîtier.

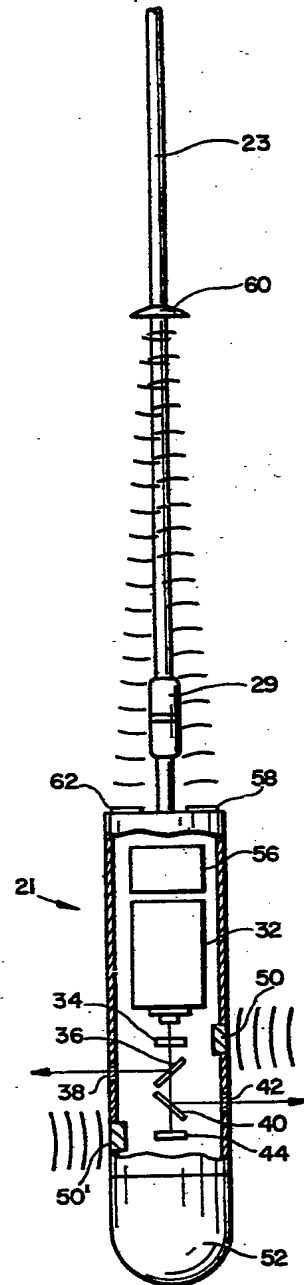
5. Appareil selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif destiné à descendre le boîtier,
- 5 le dispositif de direction de faisceau, le dispositif de réception et le dispositif de mesure de temps dans un trou foré, et un dispositif placé à l'extérieur du corps creux et destiné à commander l'appareil et à enregistrer la mesure.
6. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce
- 10 que le dispositif d'émission électromagnétique est un laser destiné à transmettre un faisceau de lumière collimatée cohérente vers l'emplacement de la paroi.
7. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif de mesure de la vitesse d'ondes
- 15 acoustiques qui se propagent dans le corps creux.
8. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce que le dispositif d'émission électromagnétique est destiné à émettre deux faisceaux parallèles d'énergie électromagnétique, en sens opposés, vers deux emplacements des parois internes
- 20 opposées du corps creux, et le dispositif de réception d'ondes acoustiques est destiné à recevoir les ondes acoustiques qui se propagent à partir des emplacements éclairés de la paroi.
9. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif destiné à faire tourner en azimut
- 25 le dispositif d'émission et le dispositif de réception dans le corps creux.
10. Procédé de mesure des dimensions internes de la cavité délimitée par les parois d'un corps creux, ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend l'émission d'un faisceau d'énergie
- 30 électromagnétique vers un emplacement d'une paroi interne du corps creux, la détection d'ondes acoustiques émises par l'emplacement de parois sous l'action de l'énergie électromagnétique, et la mesure du temps écoulé entre l'émission de l'énergie électromagnétique et la détection des ondes acoustiques.
- 35 11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que l'émission comprend la transmission d'une impulsion de lumière cohérente et collimatée de forte énergie.
12. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'il comprend la mesure de la vitesse des ondes acoustiques qui
- 40 se propagent dans la cavité du corps creux.



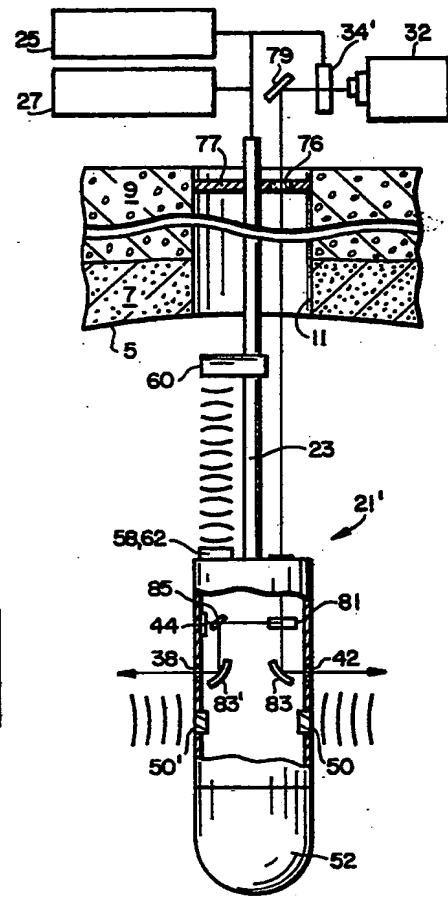
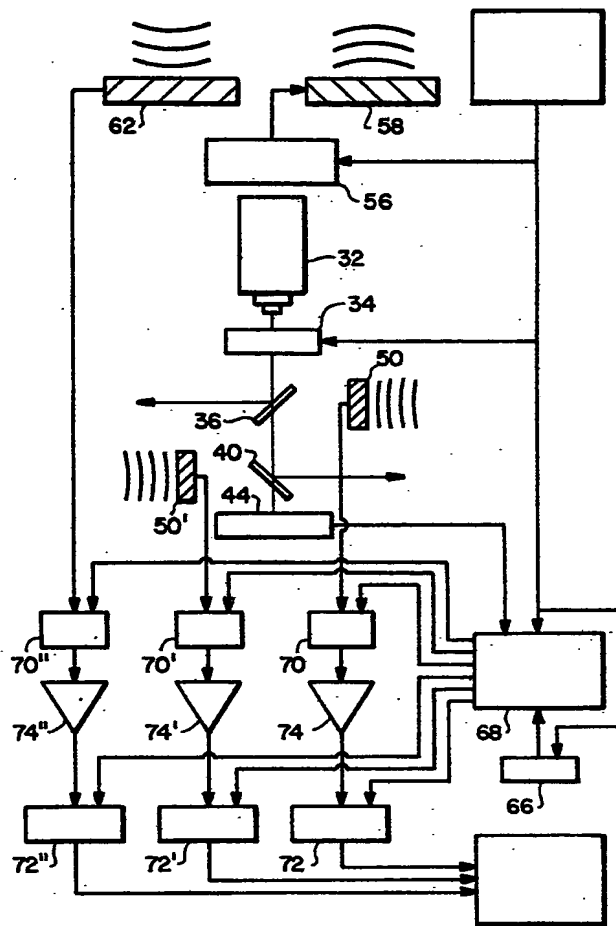
FIG_3



FIG_1



FIG_2



FIG_4

FIG_6

FIG_5

